

高強度・高導電率銅銀合金極細線材の開発

Development of High Strength and High Conductivity Ultra-Fine Copper-Silver Alloy Wires

小 泉 勉
Tsutomu KOIZUMI

新 井 龍 一
Ryuichi ARAI

大 達 剛
Go ODACHI

三 浦 聖
Kiyoshi MIURA

私達は高強度・高導電率である極細銅銀合金線材の開発を行った。その結果、組成や加工途中の中間熱処理条件を最適化することで、加工性を向上し、銀含有率 24 wt% において、引張強度 2,000 MPa を持つ極細銅銀合金線材を得ることが出来た。今回得られた線材は、小型化が進む電子機器などの配線などに使用される。

We have developed ultra-fine copper-silver alloy wires with high strength and high conductivity. By optimizing the composition and intermediate heat-treatment conditions during the wire drawing process, we improved workability and achieved ultra-fine copper-silver alloy wires with a tensile strength of 2,000 MPa of silver contents of 24 wt%. This wire can be used for wiring in electronic devices and other applications where miniaturization is progressing.

1. は じ め に

近年、電子機器の小型化が進み、使用される各種部品も極小化が進められている。それに伴い配線にも細径化が求められるが、特性として細径化前と同様な強度や動作電流が求められている。このような要求に応えるため合金化が必要になるが、強度と導電率にはトレードオフの関係があり、高強度と高導電率化を同時に実現することは非常に困難なことであり課題となっている。

図 1 に主な商用合金線の特性を示す。ほとんどの合金において、高強度化ならびに高導電率化を同時に満たされることはないが、銅銀合金については高強度化ならびに高導電率化を同時に満たす可能性があることが分かる。これまで我々は銅銀合金線材の開発に着手し、動作時に非常に大きな応力が線材に印加される強磁場マグネット用の平角線材²⁾、常に大きな屈曲応力が印加される車載シートヒーター用の極細燃線線材などを開発してきた。また、銅銀合金は加工性にも優れ、図 1 及び表 1 に示すように直径約 0.010 mm の極細線化に成功している¹⁾。しかしながら、上述の通り極細線にも機械特性、特に線材強度の向上が求められるようになっており、それら要求を満たすことで配線、配策性の向上や耐久性の向上に貢献し銅銀合金線材の用途が広がる。

本開発においては、細線化前の引張荷重及び通電容量を保持するため、引張強さ 2,000 MPa、導電率 45%IACS 以上を目標とした。

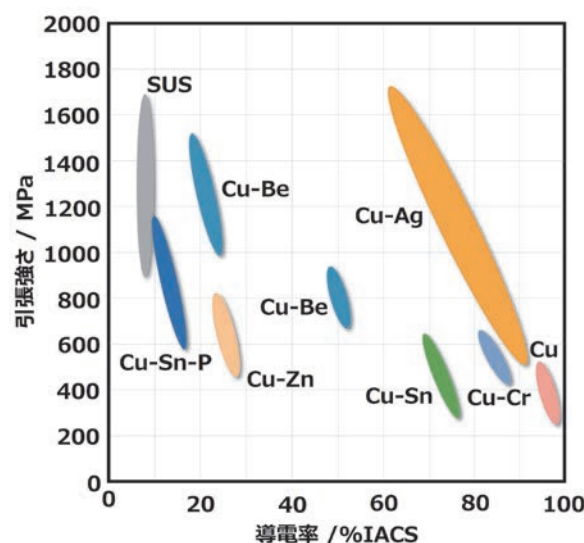


図 1 主な商用銅合金線の特性¹⁾

表 1 極細銅銀合金線の特性¹⁾

項目	特性
合金種類	銅銀合金 (Cu-Ag)
線径	0.0097 mm
引張強さ	> 1,600 MPa
導電率	> 60 %IACS

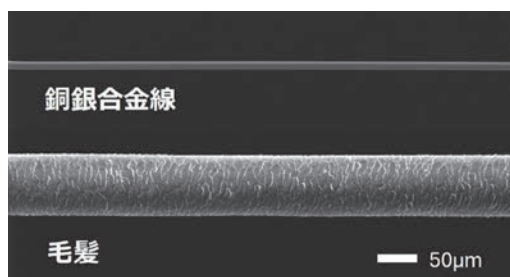
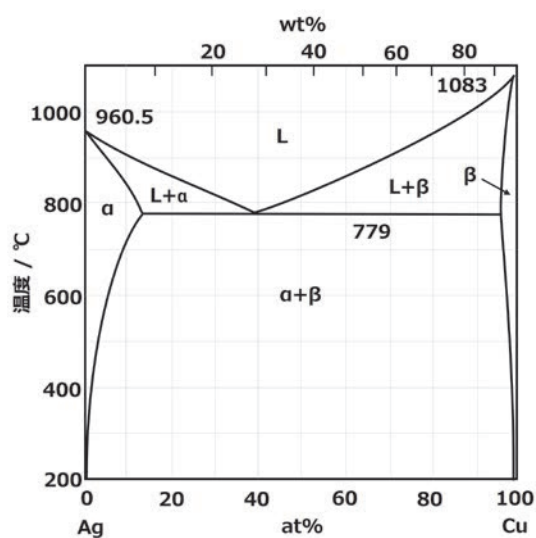


図2 極細銅銀合金線

2. 実験

現在我々が開発中の銅銀合金線材は、連続铸造の後、伸線加工と熱処理を組合せることにより、強度が向上することが報告^{2) 3)}されており、その高強度・高導電率メカニズムを基に極細線の開発を進めて来た。熱処理の役割として、铸造後の銀の偏析防止のための均質化处理、線材強度ならびに導電率向上のための、銅基固溶相（ β 相）から銀相を析出させるための析出処理があり、最終の線材特性を決定させる重要な条件である。これら条件については、図3に示す平衡状態図を考慮し、銀濃度、熱処理を施す加工度、加工限界を向上させるための処理条件について検討を行った。

図3 銀銅合金の平衡状態図⁴⁾ (大気圧)

銅銀合金は、無酸素銅をベースとし、所定の質量分率で銀を混合し、均一溶解の後、連続铸造法により、直径 ϕ 8～15 mmの丸形状の棒材を作製した。その後、伸線加工ならびに熱処理を組合せ、細線化したものを試料とした。

銅銀合金組成は、銅に対し銀を質量分率10～25%の範囲とした。

今回、加工度を基準とした加工を実施しており、式1に示す式により加工度を定義した。

$$\text{加工度}(\eta) = \ln(A_0/A) \quad (\text{式1})$$

A_0 : 加工前の線材断面積

A : 加工後の線材断面積

引張強さの測定は、インストロン型引張試験機により、標点間距離100 mm、試験速度10 mm/minにて実施した。

導電率は、室温20℃にてダブルブリッジ法を用いて、電圧端子間距離300～500 mmにて抵抗値を測定し、導電率(%IACS)に換算した。

3. 結果と考察

3-1 細線加工結果

銀の含有率が15 wt%になるように銅と銀を混合し、溶融の後、連続铸造により丸棒形状の元材を作製した。その後、均質化处理を施した。この時点での加工度を0とし、減面率10～20%にて伸線加工を施し、加工度が3に達した時点で、熱処理（中間熱処理）を施した。中間熱処理は加工度0と同様な引張強さとなるよう、370℃で40時間、減圧窒素下にて行った。その後、所定の径まで伸線加工を施し、細線化を行った。

図4にAg15 wt%線材の加工度と引張強さの関係を示す。図に示すように、引張強さは中間熱処理前後ともに、加工度の増加に伴い直線的に向上することが分かる。しかしながら、総加工度11の時点で加工限界に達し、これ以上加工度を増加させるに至らなかった。また、この時点での引張強さは、1,600 MPaであり、目標の引張強さには至らず、さらなる引張強さの向上が必要となる。

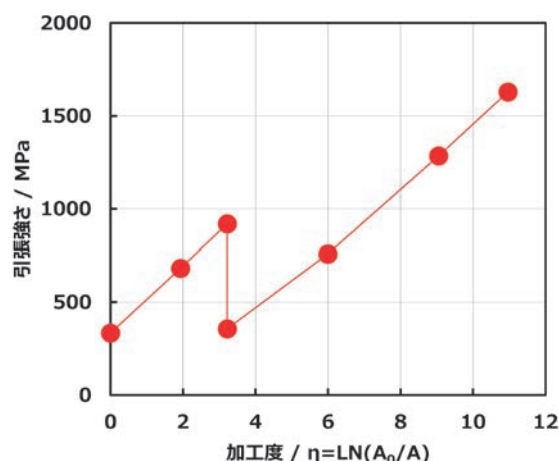


図4 Ag15 wt% 線材の加工度と引張強さの関係

そこで、引張強さの向上に必要なファクターとして、銀濃度、熱処理条件、加工度が挙げられ、各々最適化を進める必要がある。

3-2 細線化と引張強さの向上

前項において、引張強さの値が目標値に至らなかったため、銀の含有率を24 wt%に増加させることで目標達成を試みた。尚、これ以上の銀の含有率増加は、導電率が目標

の45%IACSを下回る可能性があるため、今回の含有率とした。また、表2に示す条件にて中間熱処理を実施し、各々を比較した。元材鑄造ならびに伸線加工方法については、前項と同様とした。

表2 中間熱処理条件

No.	Ag wt%	熱処理温度 (°C)	熱処理加工度
Ref.	15	370	3
1	24	370	3
2	24	450	3
3	24	450	2

* 保持時間:40 時間, 雰囲気: 減圧窒素下

図5にAg24 wt%線材の加工度と引張強さの関係を示す。図に示したように、すべての中間熱処理条件にて、前項と同様の総加工度11まで加工可能であった。しかしながら、No.2の加工度3にて中間熱処理を450°Cで施した線材については、引張強さがAg15 wt%線材よりも低下していることが分かる。本現象については、線材に加えられた熱量が大きいことで、焼鈍が進んだと考えられる。

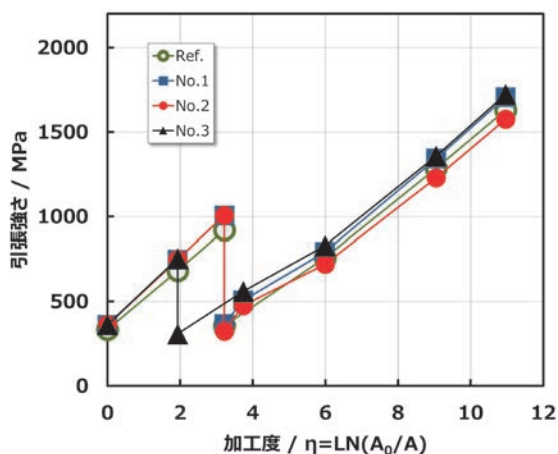


図5 Ag24 wt% 線材の加工度と引張強さの関係

図6にAg24 wt%線材の加工度と導電率の関係を示す。図に示すように、各線材ともに、総加工度11において、50%IACSを超える導電率が得られていることが分かる。また、No.2の加工度3にて中間熱処理を450°Cで施した線材の導電率が他の線材よりも高いことから、中間熱処理により焼鈍が進んだものと考えられる。

本線材についても現段階では引張強さの目標に届いていないため、さらに加工を加えることとした。Ag15 wt%線材においては、前項で述べた通り、総加工度11が加工限界であった。

以降の伸線加工については、熱処理は施さず、減面率10～20%にて伸線加工を行った。

図7に加工度向上に伴うAg24 wt%線材の加工度と引張強さの関係を示す。図に示したように、加工度11の時点で引張強さが高いNo.1及びNo.3の条件にて中間熱処理を施した線材については、加工度12以降で引張強さは向上

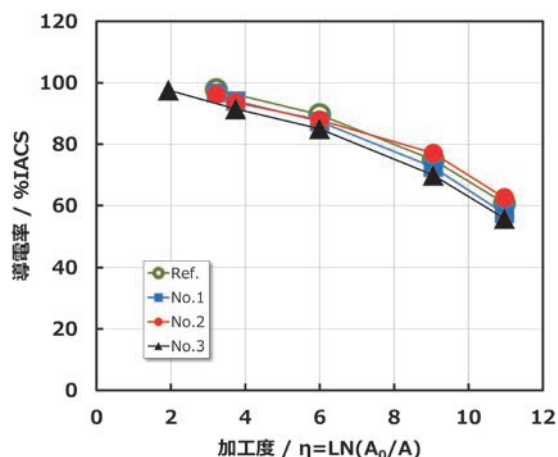


図6 Ag24 wt% 線材の加工度と導電率の関係

せず、加工限界を迎えたと考えられる。しかしながら、中間熱処理条件No.2において熱処理を施した線材については、加工度12以降においても、引張強さの向上が確認された。本実験においては、加工度14以上の加工性が確認され、その際の引張強さは2,000 MPaを超えるものとなった。

本実験結果より、銀濃度を増加させることにより、中間熱処理条件を最適化することにより、引張強さだけではなく、加工性の向上にも寄与することが確認された。

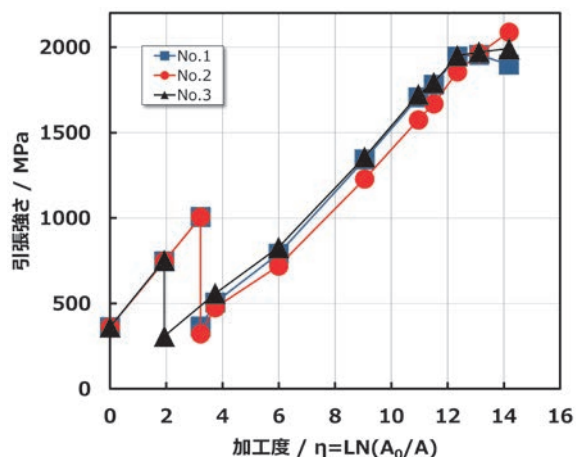


図7 加工度向上に伴うAg24 wt% 線材の加工度と引張強さの関係

4. まとめ

極細銅銀合金線材の、高強度・高導電率化を目標に開発を進めてきた。今回の実験結果から、組成及び中間熱処理条件を最適化することで、加工性が向上し、高強度な極細線を作製するに至った。また、導電率については著しい低下は見られず高強度でありながら高導電率を実現した。

また、今回の検討では、銀含有率24 wt%において、引張強度2,000 MPaが得られ、検討開始時に目標とした特性に達することが出来た。

今後もさらなる高強度・高導電率という線材特性の向上を目指していくが、今回得られた強度に関する結果と金属組織とを関連付け、金属組織を制御する方向からも特性向上にアプローチしていく。

参考文献

- 1) 銅合金極細線, 昭和電線レビュー, vol.67, No.1, p.47 (2021)
- 2) 坂井義和 他: 高強度・高導電率銅合金の開発とその応用, 昭和電線レビュー, vol.48, No.2, p.140-144 (1994)
- 3) 坂井義和 他: 高強度・高導電性 Cu-Ag 合金の開発, 日本金属学会誌, vol.55, No.12, p.1382-1392 (1991)
- 4) 金属データブック 改訂 2 版, 丸善, p417 (1984)

SWCC (株)
小泉 勉 (こいずみ つとむ)
モビリティ開発センター 開発 2G 長
モビリティ関連商品開発に従事

SWCC (株)
新井 龍一 (あらい りゅういち)
モビリティ開発センター 開発 2G
モビリティ関連商品開発に従事

SWCC (株)
大達 剛 (おおだち ごう)
モビリティ開発センター 開発 2G
モビリティ関連商品開発に従事

SWCC (株)
三浦 聖 (みうら きよし)
モビリティ開発センター 開発 2G
モビリティ関連商品開発に従事